

**FACULDADE DE ENFERMAGEM NOVA ESPERANÇA DE MOSSORÓ
CURSO DE BACHAREL EM BIOMEDICINA**

**NICOLLY LAYNARA FERREIRA DE ALMEIDA
REBEKA FRANÇA DE LIMA**

**IMPACTO DA INTOXICAÇÃO POR CHUMBO ASSOCIADA À EXPOSIÇÃO
OCUPACIONAL E AMBIENTAL**

**MOSSORÓ
2025**

NICOLLY LAYNARA FERREIRA DE ALMEIDA
REBEKA FRANÇA DE LIMA

**IMPACTO DA INTOXICAÇÃO POR CHUMBO ASSOCIADA À EXPOSIÇÃO
OCUPACIONAL E AMBIENTAL**

Artigo científico apresentado à Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró (FACENE/RN), como requisito obrigatório, para obtenção do título de Bacharel em Biomedicina

Orientador(a): Prof. Me. Antônio Alex de Lima Silva

MOSSORÓ
2025

Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró/RN – FACENE/RN.
Catalogação da Publicação na Fonte. FACENE/RN – Biblioteca Sant’Ana.

A447i Almeida, Nicolly Laynara Ferreira de.
Impacto da intoxicação por chumbo associada à exposição ocupacional e ambiental / Nicolly Laynara Ferreira de Almeida; Rebeka França de Lima. – Mossoró, 2025.
31 f. : il.

Orientador: Prof. Me. Antônio Alex de Lima Silva.
Artigo científico (Graduação em Biomedicina) – Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró.

1. Chumbo. 2. Exposição ocupacional. 3. Sistema hematológico. 4. Estresse oxidativo. 5. Biomarcadores. I. Lima, Rebeka França de. II. Silva, Antônio Alex de Lima. III. Título.

CDU 546.81

NICOLLY LAYNARA FERREIRA DE ALMEIDA
REBEKA FRANÇA DE LIMA

**IMPACTO DA INTOXICAÇÃO POR CHUMBO ASSOCIADA À EXPOSIÇÃO
OCUPACIONAL E AMBIENTAL**

Artigo científico apresentado à Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró (FACENE/RN), como requisito obrigatório, para obtenção do título de Bacharel em Biomedicina.

Aprovada em ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Antônio Alex de Lima Silva – Orientador
Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró

Prof. Dr. Almino Afonso de Oliveira Paiva – Avaliador
Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró

Prof. Me. Francisco Vicente de Andrade Neto – Avaliador
Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró

IMPACTO DA INTOXICAÇÃO POR CHUMBO ASSOCIADA À EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL E AMBIENTAL

IMPACT OF LEAD POISONING ASSOCIATED WITH OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL EXPOSURE

**NICOLLY LAYNARA FERREIRA DE ALMEIDA
REBEKA FRANÇA DE LIMA**

RESUMO

O chumbo é um metal pesado de ampla utilização industrial e elevada toxicidade, cuja exposição ocupacional e ambiental permanece como um entrave à saúde pública global. A intoxicação, denominada como saturnismo, relaciona-se principalmente a disfunções hematológicas, ao estresse oxidativo e a presença de biomarcadores emergentes que auxiliam no diagnóstico precoce. Conforme a intoxicação se alastra no organismo, enzimas essenciais podem sofrer alterações, e consequentemente provocar desordem metabólica passíveis de serem diagnosticadas. Este estudo teve como objetivo analisar os efeitos da intoxicação por chumbo no sistema hematológico, considerando mecanismos oxidativos e biomarcadores associados. Trata-se de uma revisão integrativa de cunho exploratório, com as pesquisas realizadas nas bases de dados PubMed, Medline e ScienceDirect, nos idiomas português e inglês, entre 2014 a 2025, utilizando os descriptores Lead, Workers, Hematology e Occupational Exposure, com o auxílio do conectivo booleano AND. Foram incluídos estudos observacionais, ensaios clínicos e relatos de caso, selecionados conforme critérios de relevância e acesso gratuito. Além disso, foram excluídos os artigos que não apresentaram estudos centralizados em seres humanos e desfechos na hematologia, biomarcadores, estresse oxidativo e genotoxicidade. Dos 320 artigos inicialmente identificados, 17 compuseram a amostra final. Os resultados demonstraram alterações significativas nos índices hematológicos, com redução e alteração desses parâmetros e anormalidades morfológicas. Ademais, foi analisado que a exposição ao chumbo desencadeia desequilíbrios redox, evidenciados pelo aumento da peroxidação lipídica e redução da atividade antioxidante, agravando o dano celular e sistêmico. Biomarcadores como δ -aminolevulínico urinário, protoporfirina IX eritrocitária e marcadores genotóxicos demonstraram sensibilidade para monitorar a toxicidade, mesmo em níveis inferiores aos limites ocupacionais atuais. Conclui-se que a toxicidade do chumbo além de ser modulada pela dose, também sofre por fatores genéticos, nutricionais e ambientais, reforçando a necessidade de revisão dos limites de exposição, fortalecimento de medidas preventivas e aprimoramento de políticas voltadas à saúde ocupacional e ambiental.

Palavras-chave: chumbo; exposição ocupacional; sistema hematológico; estresse oxidativo; biomarcadores.

ABSTRACT

Lead is a heavy metal widely used in industry and highly toxic, whose occupational and environmental exposure remains a global public health concern. Lead poisoning, known as saturnism, is mainly related to hematological disorders, oxidative stress, and the presence of emerging biomarkers that aid in early diagnosis. As poisoning spreads throughout the body, essential enzymes may undergo changes, consequently causing metabolic disorders that can be diagnosed. This study aimed to analyze the effects of lead poisoning on the hematological system, considering oxidative mechanisms and associated biomarkers. This is an exploratory integrative review, with research conducted in the PubMed, Medline, and ScienceDirect databases, in Portuguese and English, between 2014 and 2025, using the descriptors Lead, Workers, Hematology, and Occupational Exposure, with the aid of the Boolean connector AND. Observational studies, clinical trials, and case reports were included, selected according to criteria of relevance and free access. In addition, articles that did not present studies focused on humans and outcomes in hematology, biomarkers, oxidative stress, and genotoxicity were excluded. Of the 320 articles initially identified, 17 comprised the final sample. The results showed significant changes in hematological indices, with a reduction and alteration of these parameters and morphological abnormalities. Furthermore, it was analyzed that lead exposure triggers redox imbalances, evidenced by increased lipid peroxidation and reduced antioxidant activity, aggravating cellular and systemic damage. Biomarkers such as urinary δ -aminolevulinic acid, erythrocyte protoporphyrin IX, and genotoxic markers demonstrated sensitivity in monitoring toxicity, even at levels below current occupational limits. It is concluded that lead toxicity, in addition to being modulated by dose, is also influenced by genetic, nutritional, and environmental factors, reinforcing the need to review exposure limits, strengthen preventive measures, and improve policies aimed at occupational and environmental health.

KEYWORDS: lead; occupational exposure; hematologic system; oxidative stress; biomarker

1 INTRODUÇÃO

Os metais pesados, embora naturalmente presentes no ambiente, tornam-se tóxicos quando intensificados por atividades humanas, como mineração e descarte industrial. O chumbo, amplamente usado devido às suas propriedades físico-químicas de temperatura e resistência a corrosão, tornou-se um sério problema de saúde pública diante das evidências de seus efeitos nocivos.^{1,2,3, 4}

Embora hodiernamente já se entenda com maior clareza os malefícios da utilização desenfreada do chumbo, seu uso ainda é frequente na produção de baterias, na reciclagem informal de lixo eletrônico e na soldagem, resultando em efeitos adversos, como aumento de cardiopatia isquêmica, AVC, aterosclerose e trombose, conforme dados da BMC Public Health. (1990–2019).^{5,6} A ampla utilização do metal também gera problemas ambientais no setor ocupacional, onde a exposição ocorre, por exemplo, em fabricação de baterias, armamentos, cerâmicas e pinturas. Embora exista monitoramento, ainda é necessário reforçar medidas de proteção para maior controle desses riscos.^{7,8}

A quantidade de chumbo acumulada no organismo irá depender da atividade exercida e eficácia de medidas de biossegurança, podendo levar ao saturnismo, uma intoxicação sistêmica que compromete sistemas nervoso, urinário e, em especial, o hematológico.^{9,4} Nesse último, o chumbo interfere na síntese do grupo heme, na concentração de eritrócitos e inibe enzimas sensíveis ao diagnóstico, resultando frequentemente em anemia, agravada por deficiências nutricionais como a de ferro.^{4,10} Dessa forma, ainda que existam avanços preventivos, trabalhadores continuam vulneráveis devido à alta capacidade de bioacumulação do metal, reforçando a necessidade do uso rigoroso de EPIs, EPCs e boas práticas de higiene.^{8,9,11} A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima cerca de 1 milhão de mortes anuais relacionadas ao chumbo, que, mesmo em baixas concentrações, provoca importantes sequelas neurológicas e hematológicas.¹²

Apesar da Norma Regulamentadora nº 07 (Portaria nº 567/2022) exigir exames anuais para trabalhadores expostos ao chumbo, sua efetividade ainda é limitada, como demonstram dados do Global Burden of Disease de 2019, que apontam 5,5 milhões de mortes associadas ao metal na faixa etária de 25 anos.^{13, 14} A falta de monitoramento do chumbo, especialmente em países subdesenvolvidos com reciclagem informal, agrava os riscos à saúde, tornando essencial fortalecer pesquisas que orientem políticas públicas mais eficazes. A OMS estima que o chumbo seja responsável por 21,7 milhões de DALYs, impactando de forma significativa a saúde, a qualidade de vida e a capacidade laboral dos indivíduos afetados.¹⁵

O descumprimento da NR intensifica a exposição ocupacional ao chumbo, agravado pela falta de campanhas que reforcem seus riscos e o uso adequado de EPIs e EPCs. Assim, torna-se urgente a adoção de tecnologias e ações de promoção em saúde que reduzam os casos de saturnismo. Nesse contexto, este estudo buscou, por meio de uma revisão integrativa, analisar os efeitos fisiopatológicos do chumbo no sistema hematológico, seus mecanismos oxidativos e genotóxicos, e o papel de biomarcadores emergentes no diagnóstico precoce em ambientes ocupacionais e ambientais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa constitui uma revisão integrativa de caráter exploratório, explicada por Martins¹⁶ como uma análise estruturada que examina padrões e sintetiza resultados de estudos já publicados. Esse método favorece a discussão de métodos e achados existentes, contribuindo para o avanço de futuras investigações e para a resposta das seguintes questões problema deste estudo: Quais os impactos da intoxicação por chumbo associada à exposição ocupacional e ambiental? Quais as disfunções hematológicas, os mecanismos oxidativos e marcadores biológicos emergentes associados à intoxicação por chumbo? Como fatores genéticos podem modular a intoxicação por chumbo? Esse processo visa desenvolver um estudo que proporcione um entendimento profundo sobre o tema particular e facilite a aplicação dos resultados na prática.

A revisão foi conduzida nas bases PubMed, Medline e ScienceDirect. Foram utilizados os Descritores em Ciências da Saúde (DECS) para a pesquisa em inglês dos termos: Lead, Workers, Hematology e Occupational Exposure, combinados pelo Booleano AND. Esses termos também foram pesquisados em português, permitindo comparar a disponibilidade de estudos em ambos os idiomas. Foram adotados como critérios de inclusão: trabalhos disponíveis nas bases selecionadas de forma gratuita, estudos observacionais publicados entre os anos de 2014 a 2025, apresentando correlação direta com os descritores e temas relacionados com a proposta desta revisão. Como critérios de exclusão, têm-se: estudos cuja população não é exposta ocupacionalmente ou ambientalmente, estudos experimentais exclusivamente in vitro ou com animais, pesquisas sem desfechos hematológicos, oxidativos e genotóxicos, trabalhos não disponibilizados integralmente, estudos com metodologia informal, artigos de revisão, duplicatas nas diferentes bases consultadas.

Os instrumentos auxiliares no processo de coleta de dados foram descritos como dois quadros, ambos com todos os estudos que se encaixaram nos critérios de inclusão e exclusão.

O primeiro quadro foi retratado com o título dos trabalhos, bem como autores, bases de dados, ano e o periódico que foi publicado. Já o segundo quadro reuniu temas centrais de cada trabalho, sendo apresentado os objetivos, processo metodológico, resultados encontrados e sua relação com a temática desta revisão. Dessa forma, esse processo facilitou o encontro de referências relevantes para a discussão deste trabalho.

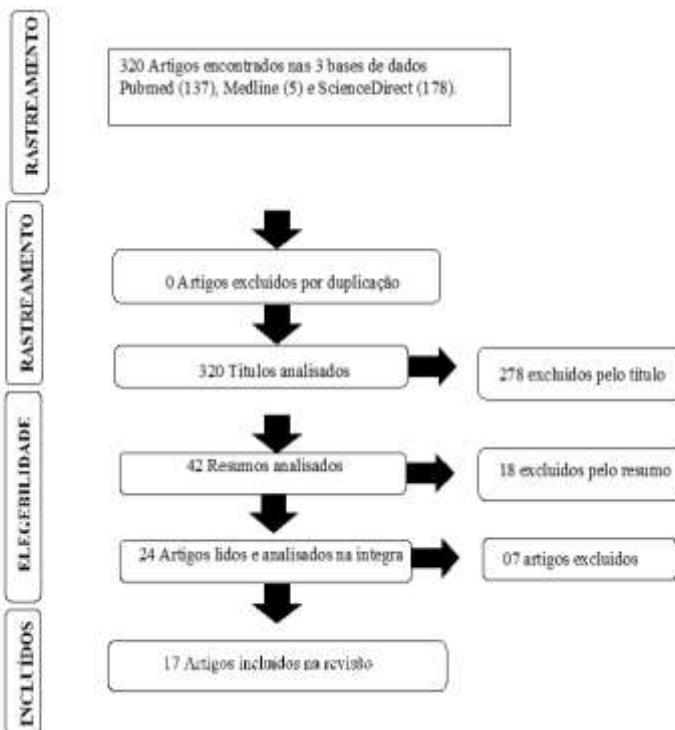
O procedimento para a coleta de dados ocorreu por meio de pesquisas via internet nas bases com os descritores e conectivos citados anteriormente com o escopo centralizar o propósito desta pesquisa. Após a busca, realizou-se a exclusão de estudos por meio da leitura de títulos, resumos e textos completos, removendo aqueles que não atendiam aos critérios. Os trabalhos selecionados foram analisados criticamente para verificar sua pertinência ao tema. A coleta de dados ocorreu em etapas: identificação dos títulos relevantes, leitura dos resumos compatíveis e, em seguida, leitura integral dos artigos mediante análise do resumo, permitindo cruzar informações e sintetizar os resultados em um quadro comparativo.

O processo analítico dos dados foi feito mediante sua interpretação e leitura aprofundada dos estudos incluídos, permitindo uma compreensão ampla dos efeitos do chumbo no sistema hematológico em contextos ocupacionais. Esse processo possibilitou organizar o tema em categorias, identificar conceitos-chave, destacar diferentes perspectivas e lacunas dos autores, integrando evidências teóricas e empíricas disponíveis nos artigos selecionados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fluxograma demonstrado na Figura 2 descreve o processo de busca e seleção dos artigos para a revisão integrativa. Primordialmente, foram encontrados 320 artigos em três bases de dados: PubMed (137), Medline (5) e ScienceDirect (178). Ao iniciar a exclusão dos artigos, nenhum foi excluído por duplicação, 278 artigos foram excluídos por título, 18 artigos foram excluídos após a leitura do resumo e, por fim, ao ler os artigos na íntegra, 7 foram excluídos. Restando assim 17 artigos, que foram analisados e estão incluídos no Quadro 01 (Apêndice 1).

Figura 2- Fluxograma da busca de artigos e critérios de seleção



Fonte: Elaboração própria (2025)

Conforme apresentado no Quadro 01 (Apêndice 1), os artigos escolhidos foram publicados entre os anos de 2014 a 2024, possuindo prevalência de publicação entre os anos de 2019 e 2021 (três artigos publicados em ambos). A homogeneidade de publicação dos estudos com o passar da última década somado a maior frequência nos últimos cinco anos demonstra a progressiva discussão da comunidade científica. Esse crescimento pode ser justificado pela maior preocupação dos pesquisadores em avaliar os dados epidemiológicos da intoxicação por chumbo, especialmente no que se refere à busca por biomarcadores mais sensíveis que facilitem a obtenção do diagnóstico de forma mais precisa e rápida, como também identificar quais elementos do ambiente tornam o trabalhador mais suscetível a intoxicação.

As pesquisas analisadas e citadas possuem autoria de indivíduos versados em temas pautados na área da saúde e ciências biomédicas, com especialidade em assuntos que abordem toxicologia de metais pesados, meio ocupacional e hematologia. Destaca-se autores vinculados a universidades e institutos de diversos países, como Gana, Egito, China, Índia e Brasil, destacando a ampliação internacional do tema, além de ser demonstrado sua relevância global acerca dos impactos da exposição ao chumbo da saúde humana comentados nesta revisão.

Os artigos analisados tratam de exposições ocupacionais ao chumbo em ambientes como baterias, mineradoras e fundições, abordando desde alterações hematológicas, inflamatórias e

oxidativas até biomarcadores que avaliam sua toxicidade sistêmica. As pesquisas incluídas apresentam metodologias variadas, como estudos transversais, de coorte, relatos de caso e ensaios clínicos.

Os periódicos selecionados possuem características por possuírem ampla distribuição internacional, indexados em bases como PubMed, ScienceDirect e Medline e com fatores de impacto oscilando de moderados a elevados, como Environment International, Toxicology e Oxidative Medicine and Cellular Longevity, variando de 1,0 a 10,0. Dessa forma, isso se torna um indicativo que artigos possuem significativa visibilidade acadêmica e científica, o que favorece para a disseminação da discussão sobre a saúde ocupacional.

As pesquisas utilizadas nesta revisão representam evidências dos efeitos adversos da exposição ao chumbo e reforçam a importância de políticas públicas no contexto ocupacional e ambiental. Após a seleção dos artigos nas bases de dados, realizou-se a leitura exploratória com foco nos objetivos, metodologias e principais resultados, sistematizados no Quadro 02 (Apêndice 2).

De modo geral, os artigos buscaram investigar a exposição e concentração do chumbo no organismo da população exposta, para então analisar a correlação em parâmetros hematológicos e oxidativos. Os estudos selecionados abordam como cenário principal o ambiente ocupacional de risco, como fábricas, indústrias e minas. Outros artigos demonstram a exposição que determinada população sofre por questões culturais e socioeconômicas em que crianças fazem parte da população afetada, exigindo um alerta de urgência para medidas cabíveis. Com base nos objetivos, pode-se identificar quatro pontos essenciais: investigação da exposição, da concentração do chumbo, dos fatores de risco e biomarcadores efetivos para detecção da intoxicação. Isso mostra um esforço consistente da comunidade científica para compreender a magnitude do dano que o metal pesado pode ocasionar, a maneira como isso ocorre, para então estabelecer estratégias de monitoramento com fortalecimento de políticas públicas.

Em relação a metodologia, os artigos incluídos demonstram variedade entre abordagens observacionais, ensaios clínicos e prospectivos, aplicados em diferentes contextos laborais. Além de avaliar a exposição ocupacional, os estudos também investigaram a relação consequente em parâmetros hematológicos, oxidativos e inflamatórios, como também possíveis modificações genéticas que modulam a toxicidade do chumbo. As amostras abrangem diversas populações de trabalhadores formais e informais em diferentes ambientes e condições de trabalho, especialmente em países subdesenvolvidos. Esses elementos destacam a busca da

comunidade científica em compreender diferentes facetas da intoxicação por chumbo, para que assim, estratégias de monitoramento e prevenção sejam melhoradas.

No que diz respeito aos resultados, os estudos identificaram a associação à exposição crônica e o surgimento do estresse oxidativo, alterações hematológicas, incluindo anemia, modificações plaquetárias e na função imunológica, sendo citada a Proteína C Reativa de alta sensibilidade (PCR-U) e comportamento dos leucócitos frente a este metal. Outro fato observado nas pesquisas selecionadas é a correlação feita por alguns autores entre o polimorfismo genético e a suscetibilidade do efeito tóxico do chumbo, evidenciando que os riscos são potencializados por alguns fatores. As pesquisas, ainda, destacam a influência de biomarcadores no diagnóstico precoce e acompanhamento dos trabalhadores, reforçando a importância do monitoramento contínuo em populações expostas ao chumbo. Além disso, estudos de longo prazo, como o de Coorte citado nos quadros evidenciam os efeitos cumulativos da exposição ocupacional. Em síntese, os resultados reunidos nesta revisão demonstram o impacto do chumbo à saúde ocupacional, sendo necessário implementação de estratégias, vigilância contínua e promoção de políticas públicas para a redução dos riscos associados a esse metal pesado.

Os artigos apresentados deram origem a discussão com o intuito de responder os seguintes questionamentos: Quais os impactos da intoxicação por chumbo associada à exposição ocupacional e ambiental? Quais as disfunções hematológicas, os mecanismos oxidativos e marcadores biológicos emergentes associados à intoxicação por chumbo? Como fatores genéticos podem modular a intoxicação por chumbo? Por meio da análise dos resultados e de uma abordagem integrativa, foi encontrado com êxito dados que mostram uma relação direta entre a exposição ao chumbo e alterações nos parâmetros hematológicos como a diminuição da hemoglobina e volume corpuscular médio, como também danos derivados do desequilíbrio redox no sistema como um todo, além de biomarcadores essenciais para obter um diagnóstico precoce e fatores genéticos de importante análise para observação da exposição. Esses resultados serão tratados ao longo desta revisão, com divisão de eixos temáticos que buscam aprofundar os resultados encontrados nos estudos selecionados. A abordagem seguirá explicando na seguinte ordem: alterações nos índices hematológicos, em seguida, a utilização de biomarcadores, posteriormente, os mecanismos relacionados ao estresse oxidativo e, por fim, as evidências acerca da modulação genética. Dessa forma, será possível uma análise integrada dos impactos da intoxicação por chumbo.

Alguns estudos demonstraram o chumbo em diversos contextos, nesses em específico, seu comportamento no sistema hematológico. Moawad (2016)¹⁷ e colaboradores destacaram a

queda de hemoglobina em crianças expostas ambientalmente no Egito, indicando um possível quadro clínico de anemia, reforçando que o impacto do metal não se restringe apenas a níveis extremos e diretos de exposição. Nesse estudo, o grupo afetado possui probabilidade de sofrer alterações hematológicas de forma silenciosa e de adquirir quadros crônicos no futuro. Essa constatação foi confirmada por Hsieh (2017)¹⁸ e colaboradores ao observarem uma relação significativa entre o chumbo e a anemia, sendo observado impactos em níveis mínimos de exposição, com alterações nos índices hematológicos, contribuindo ao revelar que a mudança desses índices dispensa uma intoxicação aguda devido a capacidade dos efeitos cumulativos e subclínicos desse metal. O mesmo foi observado em um estudo de Li e Taneepanichskul (2021)¹⁹ onde o grupo afetado trabalhava em uma fábrica atuando como soldadores, nesse estudo foi visto que além da correlação dos níveis elevados de chumbo com a diminuição de índices hematológicos, foi relatado marcadores inflamatórios, como alteração nos leucócitos totais, sugerindo sua atuação como gatilho para mecanismos inflamatórios crônicos que podem se correlacionar com o estresse oxidativo, conectando a toxicidade hematológica ao sistema imunológico. Evidências como essa foram vistas por Ravibabu (2019)²⁰ e colaboradores, citando a proteína C reativa de alta sensibilidade (PCR-U) como um biomarcador inflamatório em uma fábrica de baterias, onde seu aumento foi associado com a exposição ocupacional por chumbo, confirmando a conexão citada anteriormente e abrindo um espaço para análise do estresse oxidativo devido ao estado inflamatório.

Com a finalidade de analisar novos parâmetros, Barman (2014)²¹ e cia estudam a influência de índices plaquetários, como MPV (Volume Plaquetário Médio), PDW (Amplitude de Distribuição Plaquetária), P-LCR (Porcentagem de Plaquetas Grandes) e PCT (Volume Total de Plaquetas) em trabalhadores que atuam em uma fábrica de baterias e é analisado que este metal se associa com o aumento desses indicadores, refletindo na ativação plaquetária e redução da massa plaquetária, um quadro compatível para possíveis disfunções endoteliais e redução de óxido nítrico, interferindo sobre a hematopoiese e função vascular, comprometendo a produção e maturação das células sanguíneas, além da dinâmica plaquetária e integridade endotelial. O estudo mostrou uma heterogeneidade na elevação de alguns índices com o aumento da exposição, podendo influenciar diretamente em um estado inflamatório persistente, favorecendo disfunções hematológicas e imunológicas - tais quais ativação plaquetária e disfunções endoteliais- que, em longo prazo, contribuem para maior risco de doenças cardiovasculares e desequilíbrios na resposta imune, além de se associar a um quadro que compromete a homeostase vascular e imunológica. Chwalba (2018)²² e estudiosos estudaram um grupo de trabalhadores com intoxicação crônica por chumbo e constataram alterações em

alguns índices plaquetários, sendo citado aumento do MPV e diminuição em 15% do PDW, sustentando que o comportamento das plaquetas não é uniforme, ao citar o aumento de um dos índices que anteriormente foi diminuído no estudo de Barman. Seu estudo também verificou disfunções no hemograma, com alterações no VCM (Volume Corpuscular Médio), HCM (Hemoglobina Corpuscular Média) e aumento de 143% da citocina IL-7 nos trabalhadores, indicando uma forma de ativação imune compensatória para estimular a hematopoiése e a imunidade adaptativa. Entretanto, Parvez(2024)²³ e colaboradores correlacionaram a exposição por chumbo de forma negativa ao MPV, P-LCR E PDW, ocorrendo a diminuição desses valores em trabalhadores expostos e não expostos ao lixo eletrônico em Bangladesh, sustentando a ideia de alterações potenciais no tamanho e na função, indicando a presença de inflamação crônica de baixo grau. Nesse cenário, o seu estudo sugere a modulação do chumbo com outros metais, interagindo com vias de estresse oxidativo. Zhao (2024)²⁴ e companheiros analisam essa capacidade de potencialização do chumbo, ao estudarem exposição múltipla de metais em adultos na China, sendo associado significativamente a alterações hematológicas e inflamatórias, demonstrando que a presença de outros metais pode ampliar o risco de algumas disfunções relacionadas ao sistema hematológico. Os resultados divergentes dos autores podem ser explicados pelo grau de exposição, bem como o contexto em que o trabalhador se encontra, reforçando a variabilidade do chumbo, uma vez que Parvez inicia sua pesquisa em um momento de inflamação pouco persistente e Barman em um período mais ativo e resistente.

Outros trabalhos são voltados para analisar as vias de exposição ao chumbo e como seu estágio inicial pode ser silencioso e influenciado por outros fatores. Turksoy (2019)²⁵ e colaboradores relataram quadros de anemia e trombocitopenia, ressaltando que os efeitos podem se manifestar de forma subclínica, evidenciando a probabilidade de exames de rotina não capturarem os efeitos iniciais da exposição, mascarando o risco da toxicidade do chumbo e abrindo uma discussão sobre a insuficiência dos protocolos de diagnósticos precoces. Essa limitação diagnóstica também foi apontada por Ono e Horiguchi (2021)²⁶ ao analisarem a relação entre a dose-resposta dos níveis de chumbo sanguíneo e de ALA-U (ácido delta-aminolevulínico urinário) em trabalhadores japoneses de uma fábrica de baterias. Foi descrito o aumento do ALA-U a partir de 20 µg/dL, indicando a capacidade de induzir alterações discretas em parâmetros bioquímicos e hematológicos, mas não sendo sensíveis o suficiente para a detecção no estágio inicial, sendo questionado a precisão de um diagnóstico precoce. Ainda nesse campo, Mohammadyan (2019)²⁷ e cia correlacionam concentrações de chumbo no ar com níveis sanguíneos, sendo influenciado por fatores ocupacionais e não ocupacionais, mencionando, por exemplo, o uso de equipamentos, tempo de serviço, estação do ano e índice

de massa corporal. Esse conjunto de influências sugere que outros quadros precisam ser explorados a fim de compreender de forma mais detalhada a resposta do chumbo com outros índices, uma vez que esses fatores não são homogêneos nem padronizados para todos os trabalhadores, são influenciados de acordo com fatores individuais, que intensificam a absorção do chumbo. Esse fato foi visto também por Abebe (2024)²⁸ e colaboradores ao analisarem os níveis de chumbo no sangue em trabalhadores que atuavam em uma garagem de ônibus, sendo demonstrado maiores impactos naqueles que atuavam por mais tempo e que faziam o uso inadequado de equipamentos de proteção, reforçando a influência de variáveis ocupacionais e não ocupacionais na biodisponibilidade do chumbo.

Em busca de compreender a carga corporal de chumbo no organismo, Julander (2020)²⁹ e colaboradores investigaram trabalhadores de fundição, analisando os níveis de chumbo presentes em forma de partículas metálicas no ambiente e comparando-os com valores previstos por modelos toxicológicos. Os níveis podem refletir em alterações hematológicas, em alguns momentos subclínicos, porém de comprometimento da eritropoiese. Esse comprometimento decorre, em grande parte, do desequilíbrio oxidativo derivado da sobrecarga de EROs (espécies reativas de oxigênio), responsáveis por danificar estruturas celulares e reduzir a atividade das enzimas envolvidas no metabolismo do heme, resultando em prejuízos na hematopoiese. Essa hipótese encontra respaldo no estudo de Shraideh (2018)³⁰ e colaboradores que identificaram um aumento na peroxidação lipídica e redução da atividade antioxidante em trabalhadores jordanianos de uma oficina expostos ao chumbo, reforçando a exposição crônica e desequilíbrios em sistemas que atuam na hematopoiese. Em complemento, Kaneko (2020)³¹ e cia relataram um caso clínico de intoxicação aguda em um pintor de 24 anos, com níveis sanguíneos de chumbo em 100 µg/dL, decorrente da exposição significativa ao pó de chumbo contidos em tintas antigas. O quadro é relatado com anemia normocítica, elevação do δ-aminolevulinato (δ-ALA) e de protoporfirina eritrocitária livre (FEP), considerados marcadores de inibição da síntese do grupo heme, além da presença de eritrócitos com pontilhados basofílicos no esfregaço sanguíneo, indicativo de alteração na maturação eritrocitária. Esse conjunto de alterações bioquímicas e morfológicas destacam o comprometimento de etapas críticas da síntese do grupo heme pelo saturnismo, a inibição de enzimas essenciais como a δ-ALA desidratase e ferroquelatase leva ao consequente acúmulo de intermediários tóxicos (δ-ALA e FEP), os quais refletem a disfunção metabólica e contribuem para o estresse oxidativo e dano celular. Esses achados foram igualmente descritos por Knollmann-Ritschel e Markowitz (2017)³² que destacaram como a inibição dessas enzimas culmina em uma anemia hipocrônica

e microcítica com pontilhado basofílico, reforçando o valor diagnóstico desses marcadores para exposições agudas e crônicas ao chumbo.

Estudos investigativos como o de Wu (2016)³³ e cia demonstram evidências da relação dose-resposta significativa entre a exposição ocupacional e níveis de chumbo no sangue, isso pode ser demonstrado por meio de biomarcadores. Entre eles, a protoporfirina IX eritrocitária se destaca como marcador sensível, derivado da inibição enzimática no metabolismo do heme, reflete alterações metabólicas mesmo em níveis de exposição inferiores ao limite, ressaltando a necessidade da revisão e reajuste dos valores limites da exposição. De forma semelhante, Kalahasthi (2018)³⁴ e companheiros observaram que funcionários de uma indústria de baterias automotivas na Índia apresentaram alta excreção do biomarcador δ-aminolevulínico urinário, mesmo possuindo quantidades de chumbo no sangue inferiores ao limite estabelecido. Esses achados são pontos chaves para o diagnóstico clínico, pois por meio dos biomarcadores torna-se possível uma visão ampliada do quadro toxicológico que não seria identificado apenas pela dosagem direta de chumbo no sangue. Ademais, por se tratar de uma intoxicação sistêmica, o uso de múltiplos biomarcadores permite a verificação de diferentes facetas das disfunções, desde a hematológica até ao desequilíbrio oxidativo. Esse fato é reforçado por Patharkar (2019)³⁵ e colaboradores, que ao avaliar a excreção urinária do δ-aminolevulínico em trabalhadores de oficinas de garagem na Índia, contabilizou 73,61% dos trabalhadores com excreção do marcador em quantidades acima do valor de referência, mesmo quando os níveis de chumbo no sangue não demonstraram elevação significativa. Portanto, entende-se que a toxicidade do chumbo é evidenciada em diferentes níveis de exposição ao metal pesado, sendo ainda obscura a “dose segura” de exposição, desse modo, urge a criação de políticas mais restritivas e revisão nas atuais normas.

Em cenários como o demonstrado por Hammer (2022)³⁶ e cia, são citados impactos hematológicos decorrentes do ambiente informal de trabalho, sendo analisadas alterações nos índices sanguíneos que podem estar evidenciados com a anemia clínica, sugerindo comprometimento da hematopoiese antes de sintomas evidentes. Ainda que não seja aprofundado, seus resultados podem induzir a análise do estresse oxidativo, visto que o ambiente citado é comprometido por fontes de poeiras com resquícios metálicos e fumaças, comumente nomeados como fontes de espécies reativas de oxigênio (ERO) no organismo. Essas evidências são sustentadas com estudos de Seydi (2020)³⁷ e colaboradores, ao detectarem elevadas espécies reativas de oxigênio em uma mineradora de chumbo e zinco, além de danos nos linfócitos por esses radicais livres, prejudicando os lisossomos e as mitocôndrias, aumentando a presença de glutatona oxidada, evidenciando o estresse oxidativo e

comprometimento da função hematopoiética. Moawad (2016)¹⁷ e companheiros, por sua vez, analisam esses impactos em um grupo de crianças, correlacionando a queda de hemoglobina com o aumento da exposição por chumbo, discutindo a vulnerabilidade por fatores ambientais, como moradia e sua proximidade com esses locais. Nesse contexto, comprehende-se que os efeitos tóxicos do metal não são limitados ao ambiente ocupacional, atingindo também populações suscetíveis, às quais a longo prazo também se tornam sujeitas ao déficit hematológico, sendo este não apenas relacionado à ação direta do chumbo sob a medula óssea, mas também ao desequilíbrio redox sistêmico. Esse raciocínio é visto por Wang (2021)³⁸ e estudiosos, os quais avaliaram níveis de Pb em crianças chinesas em áreas de lixo eletrônico e determinada uma correlação inversamente proporcional entre a exposição e a queda de hemoglobina, sugerindo destruição oxidativa ou inibição de enzimas presentes no metabolismo do ferro.

Meng (2021)³⁹ e Slota (2021)⁴⁰ com seus colegas analisaram de forma detalhada como ocorre as relações entre os indicadores hematológicos e inflamatórios do chumbo, sendo direcionado pelo estresse oxidativo e genotóxico durante essa exposição. Enquanto Meng (2021)³⁹ analisa relação neutrófilo-linfócito (NRL) em trabalhadores de fábrica de baterias, sendo observado que esse conjunto de células tende a aumentar à medida que o chumbo se faz presente naquele ambiente, detectando possíveis danos ao DNA a partir de testes que analisam se houve quebra no material genético ou erros cromossômicos, detectando uma relação entre o estresse genotóxico e a resposta inflamatória, sendo constatado a atuação da NRL como um novo biomarcador inflamatório. Slota (2021)⁴⁰ consegue analisar possíveis modulações do estado tóxico do chumbo de acordo com a condição nutricional dos indivíduos, em especial com níveis de ferro sérico baixo (L-Fe) e elevados (H-Fe), sendo constatado que as pessoas do estudo presentes do grupo H-Fe apresentaram valores menores de ZPP (protoporfirina de zinco), além do aumento da capacidade antioxidante total (TAC). A partir disso, seu trabalho se correlaciona com o de Meng (2021)³⁹, uma vez que a elevação da TAC provoca a diminuição do estresse oxidativo e, consequentemente, menos danos genotóxicos induzidos pelo chumbo, ou seja, os autores conseguiram analisar possíveis fatores que induzem esse estresse e maneiras de contornar os danos do aumento da exposição. Ambos os estudiosos reforçam que a toxicidade não está necessariamente ligada apenas como uma consequência direta da exposição ao chumbo, mas sim como uma condição mediada por múltiplas causas, o que confere sobre questionamentos acerca de uma proteção homogênea para sociedade, tendo em vista que fatores individuais, como o estado nutricional, resposta inflamatória e estresse oxidativo podem modular a toxicidade do chumbo. Esses fatos começaram a ser discutidos pela Administração

de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA)⁴¹, que em 2022 iniciaram uma revisão acerca das conformidades dos limites de exposição ocupacional, uma vez que foi constatado efeitos adversos à saúde em trabalhadores com níveis de chumbo no sangue abaixo do valor limite especificados por essa organização. Dessa maneira, estratégias de vigilância ocupacional mais abrangentes, com inclusão de novos biomarcadores hematológicos, genotóxicos e análise da condição nutricional se tornam imprescindíveis.

Outros estudos como o de Zimet (2017)⁴² e colaboradores utilizaram biomarcadores como o 8-isoprostanato para investigar a capacidade do chumbo em induzir o estresse oxidativo, percebendo uma correlação moderada entre esses dois fatores. Da mesma maneira, Dobrakowski(2017)⁴³ e colegas observaram o aumento significativo de lipídios séricos peroxidados (LPH), outro marcador biológico da intoxicação pelo metal. Ambos achados demonstram um aumento significativo dos marcadores da intoxicação, além da redução da atividade de enzimas antioxidantes, resultando na redução da capacidade antioxidante total mesmo após curtos períodos de exposição ao metal. Esse estresse oxidativo decorre, em sua maioria, do acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs) somado à inibição da defesa antioxidante, o que torna relevante a análise dos processos metabólicos e inflamatórios desencadeados pelo metal. Além dos danos ao DNA, o desequilíbrio pode acelerar o envelhecimento celular e aumentar o risco do desenvolvimento de doenças crônicas, como cardiovasculares e neurodegenerativas. Esse fato pode ser evidenciado no estudo de Disalvo (2022)⁴⁴ e cia, o qual argumenta sobre o sistema nervoso ser o principal alvo da toxicidade do metal, principalmente se o indivíduo estiver em desenvolvimento, como demonstrado em seu estudo com a população de 1 a 6 anos afetadas pela exposição ambiental ao chumbo que também demonstraram um aumento significativo de TBARS (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico) e correlação positiva entre os níveis de chumbo no sangue e peroxidação lipídica. Nesse prisma, entende-se que a toxicidade do chumbo não se restringe a um único sistema, e está presente no meio ambiental, sendo necessário uma análise em um nível sistêmico e multifatorial que avalie também os níveis subtóxicos, com o emprego de monitoramento com biomarcadores sensíveis.

Por fim, Chen (2019)⁴⁵ e Gomes (2023)⁴⁶ juntamente com seus colegas investigaram como um polimorfismo genético no gene HFE (hemocromatose) interagia com a intoxicação por chumbo. Chen(2019)⁴⁵ percebeu que a variante H63D do gene foi negativamente associada ao volume corpuscular médio das hemárias e positivamente associado a ferritina sérica, sugerindo que o metabolismo do ferro pode modular a toxicocinética do chumbo ao reduzir sua absorção gastrointestinal. De forma complementar, Gomes (2023)⁴⁶ avaliou a interação entre o

mesmo polimorfismo e os níveis de chumbo no sangue somado ao dano oxidativo ao DNA pelo biomarcador 8-OHdG (8-hidróxi-2'-desoxiguanosina). Ao notar positiva associação entre o chumbo no sangue e os níveis do biomarcador, foi evidente a maior suscetibilidade dos portadores do gene HFE aos danos oxidativos causados pelo metal. Desse modo, apesar de em diferentes facetas, ambos estudos confirmam que uma variante genética tem capacidade de modular a resposta do organismo a intoxicação por chumbo, fortalecendo a compreensão de que a toxicidade do metal não depende somente da dose, mas também da suscetibilidade genética. Esse fato foi demonstrado por Ding (2016)⁴⁷ e estudiosos, que identificaram variantes genéticas como polimorfismos na desidratase do ácido δ-aminolevulínico (ALAD), hemocromatose (HFE), apolipoproteína E (APOE), dentre outros capazes de influenciar a suscetibilidade de absorção e retenção de chumbo no sangue, como também de doenças cardiovasculares em indivíduos expostos ao metal. O estudo também sugere que perfis genéticos são de importante análise como ferramenta para predição de risco, tais dados demandam a necessidade das análises genéticas como mais uma vertente a ser analisada no monitoramento ocupacional para ações de prevenção mais eficazes.

4 CONCLUSÃO

As evidências deste trabalho permitiram afirmar que o impacto causado pelo chumbo atinge diversos cenários. No sistema hematológico, pode ser percebido sua interação e modulação com índices hematológicos e plaquetários, refletindo em alterações, principalmente na hematopoiése. Em outro prisma, foi analisado o seu comportamento com biomarcadores de estresse oxidativo e genotóxico, compreendendo seus mecanismos de toxicidade, além da observação de fatores genéticos sobre a ação tóxica do chumbo. A literatura recente também evidenciou o papel de diversos biomarcadores emergentes, como a razão neutrófilo-linfócito e 8-OHdG, destacados como opções promissoras para diagnóstico de melhor qualidade.

Essa revisão integrativa apontou que a contaminação por chumbo ainda permanece como risco à saúde pública, uma vez que consegue provocar desequilíbrios em todo corpo e possui grande capacidade de provocar danos de forma sistêmica. Dessa forma é indispensável a necessidade de protocolos, monitoramento e implementação dos limites ocupacionais mais rigorosos definidos pelas NR 7 e NR 9 capazes de prever quadros clínicos mais graves. Além disso, o amparo por políticas públicas eficientes, como fiscalização constante e sistemática, controle ambiental em áreas de vulnerabilidade, e programas de vigilância em saúde do trabalhador, como o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO), na coleta

de exames periódicos, se torna essencial para a proteção da população contra a exposição do chumbo e garante uma maior qualidade de vida.

Como perspectiva futura, esta pesquisa busca auxiliar a integração de biomarcadores hematológicos, oxidativos e genéticos na criação de modelos de abordagem prognóstica que busquem estimar o risco individual à toxicidade pelo chumbo. Por fim, a diversidade dos contextos analisados, como fábrica de baterias, fundições e assentamentos de lixo eletrônico reforçam ainda mais a sua variabilidade, confirmando que os efeitos do chumbo se estendem desde ambientes ocupacionais até grupos vulneráveis em áreas ambientalmente comprometidas. A ação de políticas mais restritivas e de diagnósticos com maior sensibilidade são relevantes.

REFERÊNCIAS

1. Klaassen CD. Casarett & Doull's toxicology: The basic science of poisons. 7th ed. New York: McGraw-Hill; 2007. 1331 p.
2. Lima V, Merçon F. Metais pesados no ensino de química. Quím Nova Esc. 2011;33(4):199-205.
3. Instituto Nacional de Câncer do Brasil. Metais pesados, câncer e os riscos ambientais [cartilha]. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Câncer; 2024 [citado 2025 Jul 25]. 22 p. Disponível em: <https://ninho.inca.gov.br/jspui/handle/123456789/15363>
4. Santos CR. Ácido delta aminolevulínico desidratase (ALAD) de Tilápia (*Oreochromis niloticus*) no monitoramento do chumbo no ambiente aquático [dissertação]. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca; 2008. 47p.
5. Poudel K ,Ikeda A, Fukunaga H, Drisse MNB , Onyon LJ , Gorman J, et al. How does formal and informal industry contribute to lead exposure? A narrative review from Vietnam, Uruguay, and Malaysia. Rev Environ Health. 2023;39(2):371–388.
6. Xu T, Lin K, Cao M, Miao X, Guo H, Rui D, et al. Patterns of global burden of 13 diseases attributable to lead exposure, 1990–2019. BMC Public Health. 2023;23(1).
7. Bandeira MJ, Santos NR, Cardoso MS, Hlavinicka N, Anjos AL, Wândega EL, et al. Assessment of potters' occupational exposure to lead and associated risk factors in Maragogipinho, Brazil: preliminary results. Int Arch Occup Environ Health. 2021;94(5):1061–1071.

8. Santos CR, Silva CS, Nascimento ES. Assessment of exposure to cadmium, lead, manganese, and nickel in workers from foundries. *Toxicol Ind Health*. 2015;32(10):1784–1790.
9. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. Atenção à saúde dos trabalhadores expostos ao chumbo metálico [Internet]. Brasília: Ministério da Saúde; 2006. 44-47 p.[citado 2025 jul 26]. Disponível em: <http://renastonline.ensp.fiocruz.br/recursos/protocolo-atencao-saude-trabalhadores-expostos-chumbo-metalico>
10. Souza AM, Tavares CF. Chumbo e anemia. *Medicina (Ribeirão Preto)* [Internet]. 2009. [citado 2025 Jul 25];42(3):337-340. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rmrp/article/view/229>
11. Peixoto NH, Ferreira LS. Higiene ocupacional I [Internet]. Santa Maria: UFSM, CTISM; Rede e-Tec Brasil; 2012 [citado 2025 jul 26]. 92 p. Disponível em: <https://goias.gov.br/educacao/wp-content/uploads/sites/40/files/SESMT/HigieneOcupacionalI.pdf>
12. Organização das Nações Unidas. OMS: Envenenamento por chumbo mata cerca de 1 milhão de pessoas todos os anos; [Internet].ONU News. 24 out 2022 [citado 2025 jul 26]. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/10/1804252#:~:text=A%20cada%20ano,%20cerca%20de,elemento%20químico%20podem%20ser%20irreversíveis.>
13. Brasil. Portaria nº 567, de 10 de março de 2022. Altera a Norma Regulamentadora nº 07 - Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional - PCMSO. Diário Oficial da União. 2022 abr 1.
14. Brasil. Estudo do Banco Mundial aponta morte de 5,5 milhões de pessoas devido à intoxicação por chumbo [Internet]. FUNDACENTRO. 26 set 2023 [citado 2025 jul 26]. Disponível em: <https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/comunicacao/noticias/noticias/2023/setembro/estudo-do-banco-mundial-aponta-morte-de-5-5-milhoes-de-pessoas-devido-a-intoxicacao-por-chumbo>
15. World Health Organization. International Lead Poisoning Prevention Week [Internet]. 2023 [citado 2025 Jul 25]. Disponível em: <https://www.who.int/campaigns/international-lead-poisoning-prevention-week/2023/about>

16. Martins MF. Estudos de revisão de literatura [Internet]. Rio de Janeiro: Fiocruz; 2018 [citado 2025 Jul 25]. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/29213/?sequence=2>
17. Moawad EMI, Badawy NM, Manawill M. Environmental and Occupational Lead Exposure Among Children in Cairo, Egypt: A Community-Based Cross-Sectional Study. *Medicine*. 2016;95(9):e2976.
18. Hsieh NH, Chung SH, Chen SC, Chen WY, Cheng YH, Lin YJ, et al. Anemia risk in relation to lead exposure in lead-related manufacturing. *BMC Public Health*. 2017;17:389.
19. Li N, Taneepanichskul N. Associations between welding fume exposure and blood hemostatic parameters among workers exposed to welding fumes in confined space in Chonburi, Thailand. *PLoS ONE*. 2021; 16(11): e0260065.
20. Ravibabu K, Bagepally BS, Barman T. Association of musculoskeletal disorders and inflammation markers in workers exposed to lead (Pb) from Pb-battery manufacturing plant. *Indian J Occup Environ Med*. 2019;23(2):68-72.
21. Barman T, Kalahasthi R, Rajmohan HR. Effects of lead exposure on the status of platelet indices in workers involved in a lead-acid battery manufacturing plant. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2014;24: 629–633
22. Chwalba A, Maksym B, Dobrakowski M, Kasperczyk S, Pawlas N, Birkner E, Kasperczyk A. The effect of occupational chronic lead exposure on the complete blood count and the levels of selected hematopoietic cytokines. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2018;355:174-179.
23. Parvez SM, Huda MM, Rahman M, Jahan F, Fujimura M, Hasan SS, et al. Hematological, cardiovascular and oxidative DNA damage markers associated with heavy metal exposure in electronic waste (e-waste) workers of Bangladesh. *Toxicology*. 2024; 509:153978
24. Zhao L, Wei Y, Liu Q, Cai J, Mo X, Tang X, et al. Association between multiple-heavy-metal exposures and systemic immune inflammation in a middle-aged and elderly Chinese general population. *BMC Public Health*. 2024; 24:1192.
25. Turksoy VA, Tutkun L, Iritas SB, Gunduzoz M, Deniz S. The effects of occupational lead exposure on selected inflammatory biomarkers. *Arh Hig Rada Toksikol*. 2019;70(1):36-41
26. Ono A, Horiguchi H. Reassessment of the threshold of the blood lead level to increase

- urinary δ -aminolevulinic acid based on their relationship in recent lead workers in Japan. *J Occup Health.* 2021;63(1):e12202.
27. Mohammadyan M, Moosazadeh M, Borji A, Khanjani N, Moghadam SR. Investigation of occupational exposure to lead and its relation with blood lead levels in electrical solderers. *Environmental Monitoring and Assessment.* 2019; 191:126.
 28. Abebe MT, Kumie A, Ayana SW, Assefa T, Ambaw W. Assessment of occupational exposure to lead among workers engaged in a city bus garage in Addis Ababa, Ethiopia: a comparative cross-sectional study. *J Occup Med Toxicol.* 2024; 19: 26.
 29. Julander A, Midander K, Garcia-Garcia S, Vihlborg P, Graff P. A Case Study of Brass Foundry Workers' Estimated Lead (Pb) Body Burden from Different Exposure Routes. *Annals of Work Exposures and Health.* 2020; 64(9): 970–981.
 30. Shraideh Z, Badran D, Hunaiti A, Battah A. Association between occupational lead exposure and plasma levels of selected oxidative stress related parameters in Jordanian automobile workers. *Int J Occup Med Environ Health.* 2018; 31(4): 517-525
 31. Kaneko M, Kazatani T, Shikata H. Occupational Lead Poisoning in a Patient with Acute Abdomen and Normocytic Anemia. *Intern Med.* 2020; 59(12): 1565-1570.
 32. Knollmann-Ritschel BEC, Markowitz M. Lead Poisoning. *Academic Pathology.* 2017; 4: 1-3.
 33. Wu Y, Gu JM, Huang Y, Duan YY, Huang RX, Hu JA. Dose-Response Relationship between Cumulative Occupational Lead Exposure and the Associated Health Damages: A 20-Year Cohort Study of a Smelter in China. *Int J Environ Res Public Health.* 2016; 13 (3): 328.
 34. Kalahasthi R, Barman T. Assessment of Lead Exposure and Urinary- δ -aminolevulinic Acid Levels in Male Lead Acid Battery Workers in Tamil Nadu, India. *Journal of Health & Pollution.* 2018;8(17):6-13.
 35. Patharkar SA, Benwal SJ, Nerurkar AV, Patil N. Estimation of Urinary Delta Aminolevulinic Acid Levels in Garage Workers as an Index of Lead Exposure. *Indian J Med Biochem.* 2019; 23 (3):312-315
 36. Hammer SE, Dorn SL, Dartey E, Berlinger B, Thomassen Y, Ellingsen DG. Occupational Exposure among Electronic Repair Workers in Ghana. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(14):8477.
 37. Seydi E, Soltani M, Ramazani M, Zarei MH, Pourahmad J. Occupational exposure in lead and zinc mines induces oxidative stress in miners lymphocytes: Role of mitochondrial/lysosomal damage. *Main Group Metal Chemistry.* 2020;43(1): 154-163

38. Wang, H., Huang, P., Zhang, R. et al. Effect of lead exposure from electronic waste on haemoglobin synthesis in children. *Int Arch Occup Environ Health.* 2021; 94: 911–918
39. Meng Y, Wang K, Wang T, Tu Y, Gong S, Zhang Y, et al. Early occupational exposure to lead on neutrophil-to-lymphocyte ratio and genotoxicity. *Environment international.* 2021;151:106448.
40. Słota M, Wąsik M, Stołtny T, Machoń-Grecka A, Kasperczyk A, Bellanti F, et al. Relationship between lead absorption and iron status and its association with oxidative stress markers in lead-exposed workers. *J Trace Elem Med Biol.* 2021; 68:126841.
41. Departamento do Trabalho dos Estados Unidos. Departamento do Trabalho dos EUA inicia processo de revisão das normas de exposição ocupacional ao chumbo. Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA) – Comunicado Nacional à Imprensa. 28 jun 2022 [acesso em 22 out 2025]. Disponível em: <https://www.osha.gov/news/newsreleases/national/06282022>
42. Zimet Z, Bilban M, Fabjan T, Suhadol K, Poljšak4 B, and Osredkar J. Lead Exposure and Oxidative Stress in Coal Miners. *Biomed Environ Sci.* 2017; 30(11): 841-845
43. Dobrakowski M, Boroń M, Birkner E, Kasperczyk A, Chwalińska E, Lisowska G, et al. The Effect of a Short-Term Exposure to Lead on the Levels of Essential Metal Ions, Selected Proteins Related to Them, and Oxidative Stress Parameters in Humans. *Oxid Med Cell Longev.* 2017;2017:8763793.
44. Disalvo L, Cassain V, Fasano MV, Zar G, Varea A, Virgolini MB. Environmental exposure to lead and oxidative stress biomarkers among healthy children in La Plata, Argentina. *Arch Argent Pediatr.* 2022;120(3):174-179.
45. Chen CJ, Lin TY, Wang CL, Ho CK, Chuang HY, Yu HS. Interactive Effects between Chronic Lead Exposure and the Homeostatic Iron Regulator Transport HFE Polymorphism on the Human Red Blood Cell Mean Corpuscular Volume (MCV). *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(3):354.
46. Gomes WR, Devóz PP, Rocha BA, Grotto D, Serpeloni JM, Batista BL, et al. Association between Polymorphisms of Hemochromatosis (HFE), Blood Lead (Pb) Levels, and DNA Oxidative Damage in Battery Workers. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(4):3513.
47. Ding N, et al. Lead-Related Genetic Loci, Cumulative Lead Exposure and Incident Coronary Heart Disease: The Normative Aging Study. *PLoS ONE.* 2016; 11(9) e0161472

APÊNDICES

APÊNDICE 1- Identificação dos estudos utilizados na construção dos resultados e discussões quanto aos nomes, autorias, bases de dados, periódicos

Quadro 01: Identificação dos estudos utilizados na construção dos resultados e discussões quanto aos nomes, autorias, bases de dados, periódicos

Nº	IDENTIFICAÇÃO DO ESTUDO	AUTORES	BASE DE DADOS	PERIÓDICO	ANO
1	Occupational Exposure among Electronic Repair Workers in Ghana	Hammer SE, Dorn SL, Dartey E, Berlinger B, Thomassen Y, Ellingsen DG	PUBMED	International journal of environmental research and public health	2022
2	Environmental and Occupational Lead Exposure Among Children in Cairo, Egypt: A Community-Based Cross-Sectional Study	Moawad EM, Badawy NM, Manawill M	PUBMED	Medicine (Baltimore)	2016
3	Lead Exposure and Oxidative Stress in Coal Miners	Zimet Z, Bilban M, Fabjan T, Suhadolc K, Poljšak B, Osredkar J	PUBMED	Biomedical and environmental sciences	2017
4	The effects of occupational lead exposure on selected inflammatory biomarkers	Turksoy VA, Tutkun L, Iritas SB, Gunduzoz M, Deniz S	PUBMED	Archives of Industrial Hygiene and Toxicology	2019
5	Dose-Response Relationship between Cumulative Occupational Lead Exposure and the Associated Health Damages: A 20-Year Cohort Study of a Smelter in China	Wu Y, Gu JM, Huang Y, Duan YY, Huang RX, Hu JA	PUBMED	International journal of environmental research and public health	2016

6	Interactive Effects between Chronic Lead Exposure and the Homeostatic Iron Regulator Transport HFE Polymorphism on the Human Red Blood Cell Mean Corpuscular Volume (MCV)	Chen CJ, Lin TY, Wang CL, Ho CK, Chuang HY, Yu HS	PUBMED	International journal of environmental research and public health	2019
7	Associations between welding fume exposure and blood hemostatic parameters among workers exposed to welding fumes in confined space in Chonburi, Thailand	Li N, Taneepanichskul N	PUBMED	PloS one	2021
8	Association between Polymorphisms of Hemochromatosis (HFE), Blood Lead (Pb) Levels, and DNA Oxidative Damage in Battery Workers	Gomes WR, Devóz PP, Rocha BA, Grotto D, Serpeloni JM, Batista BL, et al.	PUBMED	International journal of environmental research and public health	2023
9	Occupational Lead Poisoning in a Patient with Acute Abdomen and Normocytic Anemia	Kaneko M, Kazatani T, Shikata H	PUBMED	Internal medicine (Tokyo, Japan)	2020
10	A Case Study of Brass Foundry Workers' Estimated Lead (Pb) Body Burden from Different Exposure Routes	Julander A, Midander K, Garcia SG, Vihlborg P, Graff P	PUBMED	Annals of work exposures and health	2020
11	The Effect of a Short-Term Exposure to Lead on the Levels of Essential Metal Ions, Selected Proteins Related to Them, and Oxidative Stress Parameters in Humans	Dobrakowski M, Boroń M, Birkner E, Kasperczyk A, Chwalińska E, Lisowska G, et al.	PUBMED	Oxidative medicine and cellular longevity	2017
12	Assessment of Lead Exposure and Urinary- δ -aminolevulinic Acid Levels in Male Lead Acid Battery Workers in Tamil Nadu, India	Kalahasthi R, Barman T	PUBMED	Journal of health & pollution	2018
13	Early occupational exposure to lead on neutrophil-to-lymphocyte ratio and genotoxicity	Meng Y, Wang K, Wang T, Tu Y, Gong S, Zhang Y, et al	ScienceDirect	Environment International	2021

14	Hematological, cardiovascular and oxidative DNA damage markers associated with heavy metal exposure in electronic waste (e-waste) workers of Bangladesh	Parvez SM, Huda MM, Rahman M, Jahan F, Fujimura M, Hasan SS, et al.	ScienceDirect	Toxicology	2024
15	Relationship between lead absorption and iron status and its association with oxidative stress markers in lead-exposed workers	Ślota M, Wąsik M, Stołtny T, Machoń-Grecka A, Kasperekzyk A, Bellanti F, et al.	ScienceDirect	Journal of Trace Elements in Medicine and Biology	2021
16	Effects of lead exposure. The status of platelet indices in workers involved in a lead-acid battery manufacturing plant	Barman T, Kalahasthi R, Rajmohan HR	MEDLINE	Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology	2014
17	Investigation of occupational exposure to lead and its relation with blood lead levels in electrical solderers	Mohammadyan M, Moosazadeh M, Borji A, Khanjani N, Moghadam SR	MEDLINE	Environ Monit Assess	2019

Fonte: Elaboração própria (2025).

APÊNDICE 2- Identificação dos estudos selecionados para a construção dos resultados e discussões quanto aos títulos, objetivos e resultados.

Quadro 02: Identificação dos estudos selecionados para a construção dos resultados e discussões quanto aos títulos, objetivos e resultados.

Nº	TÍTULO	OBJETIVO	METODOLOGIA	RESULTADOS
1	Occupational Exposure among Electronic Repair Workers in Ghana	Investigar a concentração de metais pesados e elementos de terras raras em trabalhadores de reparo eletrônico em Kumasi, Gana.	Estudo transversal	As concentrações de todos os elementos no ar foram baixas no reparo eletrônico. Ferro, Zn e Pb estavam presentes com a maior abundância relativa na poeira de reciclagem eletrônica.
2	Environmental and Occupational Lead Exposure Among Children in Cairo, Egypt: A Community-Based Cross-Sectional Study	Avaliar a exposição ao chumbo na infância em uma amostra representativa do Cairo e investigar os possíveis fatores de risco e fontes de exposição.	Estudo transversal	100% de todas as crianças de oficinas apresentaram níveis de chumbo no sangue acima do valor de referência de 5 µg/dL. Crianças que trabalham na produção de cerâmica foram as principais vítimas.
3	Lead Exposure and Oxidative Stress in Coal Miners	Investigar a correlação de curto prazo entre os níveis de chumbo no sangue e a geração de estresse oxidativo em mineiros de carvão.	Ensaio clínico controlado	Após três dias de trabalho, mineradores de carvão mostraram elevação do estresse oxidativo, medida pelo 8-isoprostanato, com níveis de chumbo no sangue apresentando correlação moderada com esse efeito.
4	The effects of occupational lead exposure on selected inflammatory biomarkers	Avaliar biomarcadores inflamatórios e sua relação com níveis sanguíneos de chumbo, além de parâmetros hematológicos e bioquímicos indicativos de efeitos adversos da exposição ocupacional	Estudo transversal	A exposição ocupacional ao chumbo refletiu no aumento dos níveis de citocinas pró-inflamatórias IL-6, IL-10 e TNF- α , mas não afetou significativamente o h-FABP e o VCAM.

5	Dose-Response Relationship between Cumulative Occupational Lead Exposure and the Associated Health Damages: A 20-Year Cohort Study of a Smelter in China	Analisar a relação dose-resposta entre a exposição cumulativa ocupacional ao chumbo e o envenenamento por chumbo e biomarcadores	Estudo de coorte retrospectivo	A dose cumulativa de exposição ao chumbo e a incidência de envenenamento por chumbo mostraram uma relação dose-resposta significativa
6	Interactive Effects between Chronic Lead Exposure and the Homeostatic Iron Regulator Transport HFE Polymorphism on the Human Red Blood Cell Mean Corpuscular Volume (MCV)	Investigar se o genótipo HFE modifica os níveis sanguíneos de chumbo que afetam as distribuições de ferro sérico e outros índices de hemácias	Estudo transversal	O polimorfismo HFE (CCHD) pode modificar o efeito do chumbo nos glóbulos vermelhos, mostrando possível proteção em certos níveis de exposição em comparação com CCHH
7	Associations between welding fume exposure and blood hemostatic parameters among workers exposed to welding fumes in confined space in Chonburi, Thailand	Investigar a relação entre exposição a metais tóxicos e parâmetros hemostáticos após três semanas de interrupção da exposição em soldadores	Estudo transversal	Soldadores apresentaram leve aumento do Hct ($p = 0,026$), sem alterações significativas em linfócitos; exposição parcial de não soldadores pode ter obscurecido associações com WBC.
8	Association between Polymorphisms of Hemochromatosis (HFE), Blood Lead (Pb) Levels, and DNA Oxidative Damage in Battery Workers	Avaliar o impacto da exposição ao Pb no dano oxidativo ao DNA, bem como a modulação de polimorfismos da hemocromatose (HFE) na carga corporal de Pb e a toxicidade do Pb	Estudo transversal	Portadores de pelo menos um alelo variante para HFE tendem a apresentar níveis de chumbo no plasma mais alto do que aqueles com o genótipo não variante.
9	Occupational Lead Poisoning in a Patient with Acute Abdomen and Normocytic Anemia	Relatar o caso de intoxicação ocupacional por chumbo manifestado por abdome agudo e anemia normocítica	Relato de caso	Diagnóstico de intoxicação por chumbo com sintomas gastrointestinais e anemia normocítica; melhora após terapia de queilação.

10	A Case Study of Brass Foundry Workers' Estimated Lead (Pb) Body Burden from Different Exposure Routes	Investigar as possíveis rotas de exposição em trabalhadores uma fundição de latão e entender se os fluidos de corte de metal usados pelos trabalhadores poderiam levar à absorção de Pb pela pele.	Estudo de caso	A absorção pela pele ocorreu em doses muito baixas e até 10% do conteúdo de Pb estava presente na pele após 24 h de exposição.
11	The Effect of a Short-Term Exposure to Lead on the Levels of Essential Metal Ions, Selected Proteins Related to Them, and Oxidative Stress Parameters in Humans	Explorar a influência da exposição subaguda ao chumbo sobre metais essenciais, proteínas associadas e parâmetros de estresse oxidativo em trabalhadores expostos	Ensaio clínico	Os níveis de cálcio, magnésio e zinco aumentaram significativamente após a exposição ao chumbo. O nível de LPH sérico aumentou significativamente em 46%, enquanto o nível de LPS eritrocitário diminuiu 13%
12	Assessment of Lead Exposure and Urinary- δ -aminolevulinic Acid Levels in Male Lead Acid Battery Workers in Tamil Nadu, India	Avaliar a exposição ao Pb em níveis elevados de chumbo no sangue e níveis urinários de ácido δ -aminolevulínico de trabalhadores expostos ao Pb na indústria de baterias de chumbo-ácido em Tamil Nadu, Índia	Relato de caso	83,3% dos trabalhadores tinham níveis de BLL < 40 μ g/dL e 16,7% dos trabalhadores tinham níveis de BLL > 40 μ g/dL. Uma excreção excessiva de U- δ -ALA (20-40 mg/L) foi observada em trabalhadores da área de colagem (2,6%), seguidos por executivos (2,2%) e trabalhadores de montagem (0,9%).
13	Early occupational exposure to lead on neutrophil-to-lymphocyte ratio and genotoxicity	Avaliar os níveis de chumbo no sangue, índices de glóbulos brancos, bem como a correlação da genotoxicidade em trabalhadores que atuam em uma fábrica de baterias no norte da China	Estudo transversal	A exposição ao chumbo impactou o aumento da NRL (relação neutrófilo-linfócito), provocando genotoxicidade inicialmente. Dessa forma, a NRL pode ser considerado um novo biomarcador para intoxicação por chumbo
14	Hematological, cardiovascular and oxidative DNA damage markers associated with heavy metal exposure in electronic waste (e-waste) workers of Bangladesh	Avaliar a correlação entre a exposição ao lixo eletrônico e fatores hematológicos, cardiovasculares e oxidativos.	Estudo transversal	Foi observado redução de índices plaquetários, compatível com inflamação crônica. Além disso, foi detectado níveis elevados de glóbulos vermelhos, percentagem de eosinófilos

15	Relationship between lead absorption and iron status and its association with oxidative stress markers in lead-exposed workers	Verificar como a população exposta ao chumbo irá responder em relação aos níveis de ferro e o estresse oxidativo	Estudo transversal	Níveis séricos de ferro e protoporfirina de zinco se mostraram um marcador de longo prazo associados aos efeitos hematológicos tóxicos do Pb
16	Effects of lead exposure. The status of platelet indices in workers involved in a lead-acid battery manufacturing plant	Verificar a relação do índice plaquetário e a exposição ao chumbo em trabalhadores expostos	Estudo transversal	Houve relação entre o BLL (nível de chumbo no sangue), plaquetas e PLCR (razão plaquetária das grandes células). Alguns índices plaquetários se relacionam positivamente e negativamente com o BLL
17	Investigation of occupational exposure to lead and its relation with blood lead levels in electrical solderers	Investigar a exposição ocupacional ao chumbo em mulheres soldadoras e sua relação com os níveis sanguíneos de chumbo	Estudo transversal	O estudo demonstrou que os níveis de chumbo no sangue podem aumentar de acordo com a intensidade de inalação do Pb no ar.

Fonte: Elaboração própria (2025).